

Transmisión y Monitorización Remota de Señales Respiratorias en Niños mediante SIP y tecnologías Web 2.0

Tomás Robles⁽¹⁾, Eduardo Pico⁽¹⁾, Carlos Nossa⁽²⁾, Miguel Villacorta⁽³⁾, Daniel Fuertes⁽³⁾

⁽¹⁾Departamento de Ingeniería Telemática

⁽²⁾, Departamento de Tratamiento de la Señal en Comunicaciones

⁽³⁾Departamento de Tecnología Fotónica

Universidad Politécnica de Madrid (UPM)

Madrid, España

Resumen— Este artículo presenta el Sistema diseñado para permitir la monitorización remota de niños con problemas de apnea. El Sistema se ha diseñado en colaboración con el Hospital de LA PAZ, para identificar los elementos clave para detectar la apnea, incluyendo las señales que deben ser analizadas y las funcionalidades claves del sistema. En LA PAZ también se realizarán las pruebas reales de sistema final. El sistema desarrollado pretende mejorar la calidad de vida de los pacientes monitorizados por un lado y por otro mejorar el conocimiento sobre la apnea en pacientes reales mediante la recogida de gran cantidad de señales. La información se recoge y analiza en tiempo real para permitir una detección temprana de apneas. La información recogida por los sensores también se almacena en una Base de Datos central que permitirá un posterior análisis más profundo de las señales recogidas. El Sistema permite una visualización remota utilizando navegadores Web estándar, integrando tecnologías Web 2.0

Palabras clave— apnea, SIP, Web 2.0

I. INTRODUCCIÓN

Los trastornos respiratorios en la infancia, si no son atendidos inmediatamente, pueden generar eventos con riesgo vital inmediato caracterizados clínicamente por el cese de la respiración (apnea), cambios en la coloración (palidez, cianosis), disminución del tono muscular (flacidez), y ahogo.

Según la American Academy of Pediatrics y la Asociación Española de Pediatría, la monitorización cardiorrespiratoria domiciliar con aparatos que posean un registro de eventos se recomienda en: 1) niños prematuros con riesgo de episodios recurrentes de apnea, bradicardia e hipoxemia cuando son dados de alta a su domicilio; 2) niños con traqueotomía y que requieran presión positiva continua en la vía aérea (SAOS), vías aéreas inestables (traqueomalacia, estenosis traqueales), condiciones médicas que afectan la regulación respiratoria (Síndrome de Ondine, Apnea Central) y pacientes con enfermedad crónica pulmonar sintomática; y 3) hermanos siguientes o gemelos de SMSL (Síndrome de muerte súbita

del lactante, 1,5 por mil nacidos vivos).

Actualmente, los monitores de apnea infantil permiten recoger la información proporcionada por los sensores de diferentes tipos: electrocardiograma, movimientos respiratorios y saturación de oxígeno. El médico establece previamente los niveles de alarma para cada uno de los parámetros recogidos por los sensores. Cada cierto tiempo los padres deben llevar el monitor al hospital donde el médico descarga la información almacenada para su ulterior análisis. Mediante esta información el médico sólo puede comprobar, transcurridas unas semanas, que ha ocurrido algún evento crítico en cuyo caso indicaría una vigilancia más intensa.

El sistema de monitorización utilizado actualmente adolece de los siguientes inconvenientes:

1. Ante una alarma del monitor, los padres se encuentran desorientados por carecer de apoyo médico inmediato.
2. Las falsas alarmas (por desconexión de electrodos, fallos del sistema, movimientos del niño) generan en los padres una angustia innecesaria motivando visitas al Hospital e ingresos injustificados.
3. El procesamiento de las señales es básico: sólo se establecen límites de alarma sin caracterizar de forma predictiva los eventos cardiorrespiratorios graves impidiendo actuar oportunamente.
4. Los sensores actualmente en uso (electrodos, cables, pulsoxímetros digitales) suponen una incomodidad que limita la calidad de vida del niño mientras las señales se deterioran con los movimientos dificultando a su vez el diagnóstico.
5. Los parámetros medidos no permiten establecer un diagnóstico diferencial entre apnea obstructiva y central lo cual requiere nuevos y costosos estudios.

Para resolver estas limitaciones el proyecto STAR pretende combinar las capacidades de las redes convergentes IP (combinando tecnologías SIP con aplicaciones Web 2.0), con las técnicas de análisis de señal para caracterizar, analizar y detectar los episodios de apnea en tiempo real. El sistema diseñado también permitirá recoger las señales en una base de datos para su procesamiento fuera de línea con el objetivo de identificar patrones y caracterizar diferentes situaciones dentro de las señales analizadas, mediante el uso de algoritmos más

El trabajo descrito en este artículo está basado en los resultados de los proyectos STAR (Sistema telefónico de Alarma Respiratoria Infantil) una empresa conjunta entre Telefónica Móviles de España S. A. U., El Hospital de LA PAZ y ETSI Telecomunicación de la universidad politécnica de Madrid.

complejos.

Adicionalmente el sistema permitirá la monitorización remota vía Web por diferentes doctores de los niños situados tanto en el hospital como en su entorno domiciliario.

El resto del artículo se organiza como sigue: en la sección II se analiza la apnea y las señales necesarias para analizarla, en la sección III se describe la arquitectura general del sistema, en la sección IV se describen las principales características del sistema de comunicaciones, en la sección, en la sección V se analizan las funciones de señalización de este sistema, en la sección VI se describe el sistema de visualización de los datos recogidos mediante una navegador Web, en la sección VII se describe la recogida de datos del monitor, en la sección VIII se describe el transporte de datos entre los sensores y la Base de Datos, en la sección IX se muestra el esquema general del bloque de análisis de las señales, y finalmente en la sección X se describe el estado y los planes de despliegue y evaluación.

II. APNEA Y SEÑALES NECESARIAS PARA SU ESTUDIO

Se han identificado dos situaciones relativas a la apnea: el síndrome de muerte súbita del lactante (SMSL) y el síndrome de apnea obstructiva del sueño (SAOS) en niños.

El SMSL es la muerte brusca e inesperada de un niño aparentemente sano, en el que a pesar de realizar una autopsia según protocolos establecidos, así como una investigación de todas las circunstancias que rodearon su fallecimiento, no se encuentra ninguna causa que lo justifique.

Las campañas encaminadas al cambio postural en la cuna, para dormir en decúbito supino (acostado sobre la espalda ó boca arriba), dieron lugar a un espectacular descenso en la incidencia de esta luctuoso suceso. Las muertes de niños disminuyeron al menos en un 50% en todos los países en que se realizó este cambio postural. Pero queda un porcentaje residual que se identifica como población de riesgo, a los que se monitoriza en su domicilio el movimiento respiratorio y la frecuencia cardiaca, incluido un ECG, almacenándose en la memoria los eventos ocurridos, para poder posteriormente analizarlos.

La apnea, que puede ser central, obstructiva ó mixta puede ser definida como un cese del flujo aéreo durante un periodo de 15-20 segundos. En el caso de la apnea de origen central, la ausencia de flujo aéreo se debe a la falta de estímulo eficaz sobre los músculos respiratorios. Las consecuencias inmediatas de una apnea son: disminución de la saturación de Oxígeno acompañada de cianosis si la apnea es prolongada y bradicardia u otras arritmias. Generalmente se producen cambios en el nivel de conciencia y una depresión del tono muscular. Los cuadros reiterados de apnea pueden producir cambios crónicos en la circulación pulmonar.

La hipopnea se establece cuando la disminución del flujo aéreo nasobucal es superior al 50 por ciento y se acompaña de de saturaciones de oxígeno superiores al 4%. En la edad pediátrica las hipopneas tienen una repercusión muy importante en el SAOS.

El SAOS pediátrico se da por igual en niños y niñas de

todas las edades. Se han descrito lactantes de pocas semanas con formas abortadas de síndrome de muerte súbita del lactante que posteriormente desarrollaron SAOS, pero es más frecuente entre los 2 y 8 años de edad, y especialmente entre los 3 y 6 años, debido a que en este periodo las relaciones anatómicas de la vía aérea superior y el tejido linfoide local hacen que el calibre de las mismas sea menor.

En la bibliografía se utilizan tres métodos para medir la respiración [9]:

- A.) Flujo aéreo. Para ello se identifican diferentes técnicas: pneumotacógrafo intercalado en la vía aérea: considerado el "gold standard"; mascarilla facial con pneumotacógrafo "mesh screen"; termistores y termografía en los orificios nasales y en la boca; cánula nasal conectada a un transductor de presión; y analizador de CO₂.
- B.) Mediciones relacionadas con el esfuerzo respiratorio. Para ello se identifican diferentes técnicas: detectores del movimiento del tórax y/o abdomen; pletismógrafos de impedancia, "strain gauge" e inductancia; pneumografía; Magnetómetros; TAC; RM
- C.) Detectores del movimiento corporal; Radar basado en microondas; Mantas con sensores de movimiento

Una vez estudiadas las características de la apnea desde un punto de vista médico se aborda el problema de establecer qué informaciones pueden permitir el análisis de la misma mediante un conjunto de algoritmo que trabajen sobre las señales que se pueden recoger de un paciente.

En primer lugar se abordó una revisión bibliográfica exhaustiva y se procedió a contrastar datos de los registros de apnea capturados en el hospital de La Paz, con los existentes en las bases de datos directamente relacionadas con esta problemática:

- Apnea-ECG Database
- MIT-BIH Polisomnographic Database

Estos dos bases de datos se encuentran recogidas en Contenidas en Physionet (The Research Resource for Complex Physiologic Signals [1]), que es un referente internacional para contrastar resultados de investigación. Debemos destacar que la apnea es un proceso complejo y que en la bibliografía analizada y en los protocolos médicos, se utilizan muchas señales y parámetros. En el contexto de los objetivos del proyecto STAR se ha concluido que los parámetros más representativos de los procesos de apnea son:

- Señal electrocardiográfica.
- Saturación de oxígeno.
- Señal respiratoria.

Finalmente se plantea la selección de los equipos que se van a utilizar para recoger los parámetros seleccionados. Por orden de prioridad se han identificado los siguientes criterios de selección:

1. Equipos aprobados y certificados por los organismos competentes.
2. Posibilidad de uso de las señales necesarias en tiempo real.
3. Disponibilidad de las señales en tiempo real mediante interfaz software.
4. Ligereza y portabilidad del equipo.

Dentro de estos parámetros, la selección de los equipos se ha circunscrito a equipos comerciales, dejando a un lado prototipos y sistemas de investigación. Dentro del proyecto se han evaluado diferentes equipos (9 en total), y finalmente se ha seleccionado el equipo Omicrom FT Plus de la firma RGB Medical Devices.

La elección de este equipo se basa en factores tanto médicos como puramente técnicos. Desde el punto médico suministra todas las señales necesarias para un perfecto diagnóstico de los procesos de apnea. Desde el punto de vista técnico se han valorado las facilidades de comunicación para proporcionar las señales requeridas en tiempo real mediante un puerto RS-232. Adicionalmente al tratarse de un fabricante nacional existe una mayor facilidad para acceder a equipos y especificaciones técnicas.

El sistema sin embargo, se mantiene abierto a cualquier otro equipo que cumpla los criterios anteriormente descritos.

III. ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA

El proyecto STAR pretende resolver las carencias de los sistemas actuales de monitorización y detección de apneas, desarrollando una infraestructura de comunicaciones que permita la comunicación permanente entre los sensores de cada paciente y un centro de análisis de señales situado en el hospital y, de éste a su vez, con los médicos responsables del enfermo.

Para ello, se ha desarrollado una arquitectura que permite el intercambio de datos entre los sensores y la Aplicación Central del hospital, encargada de almacenar y controlar los datos recogidos. A la vez, esta arquitectura admitirá que los doctores accedan de forma remota a la Aplicación Central para así poder utilizar y controlar la información procedente de los sensores.

Esta arquitectura se ha diseñado como un sistema flexible y escalable para poder funcionar sobre cualquier tipo de red IP, haciendo uso de protocolos e interfaces estandarizados siempre que ha sido posible.

Otro de los objetivos propuestos es caracterizar el patrón respiratorio normal de un niño y analizar si existen factores que permitan anticipar los episodios de apnea mediante el análisis de las señales disponibles. De esta manera, se obtendrá un sistema capaz de predecir los posibles episodios de riesgo.

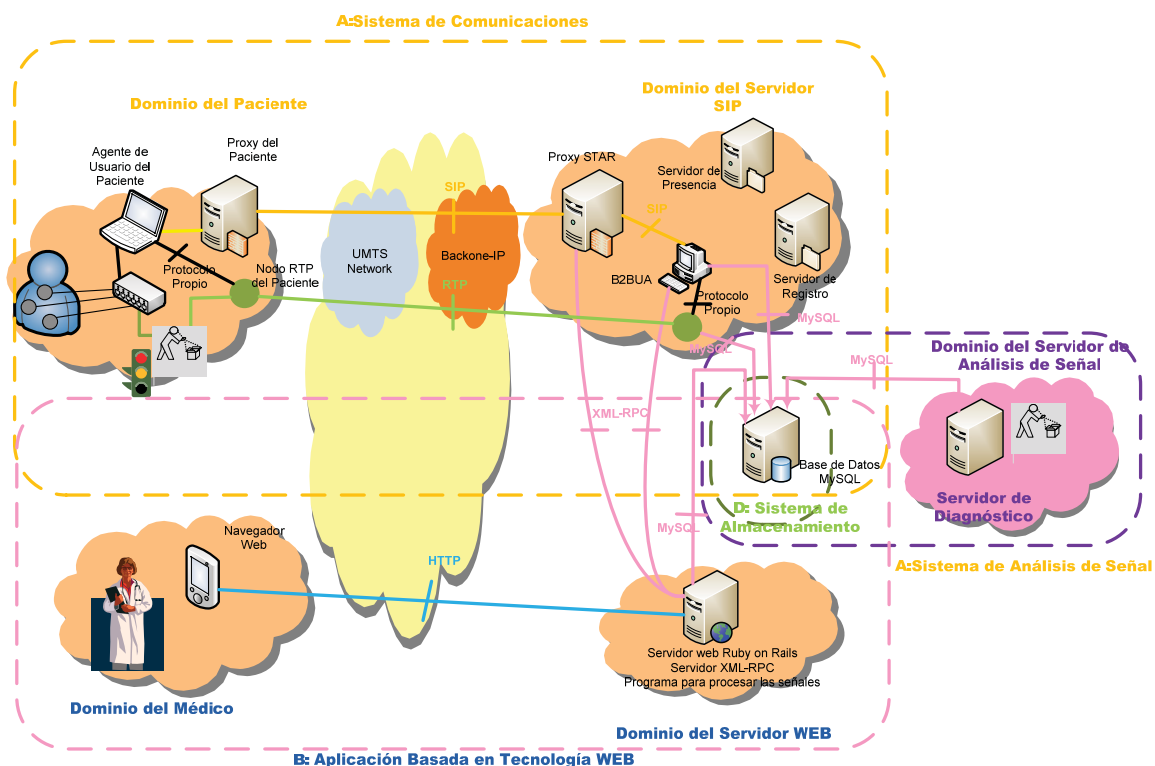


Fig. 1. Arquitectura General

En el diseño de la arquitectura general del sistema, cuyo esquema se incluye en la Fig. 1, se pueden distinguir cuatro partes:

- A. Un Sistema de Comunicaciones que permite el intercambio de información entre los sensores del paciente y la Aplicación Central. Gracias a esta infraestructura, se lleva a cabo la recogida, la transferencia y el almacenamiento de los datos de cada paciente. Esta comunicación se basa principalmente en el Protocolo de Inicio de Sesión SIP (Session Initiation Protocol[2]), que abarca el Dominio del Paciente y el Dominio del Servidor SIP, así como en redes 3G (UMTS), para conectar aquellos puntos que no disponen de conexiones fijas de banda ancha. El uso del protocolo SIP es totalmente transparente a la red móvil, para la que todo el intercambio de información toma la forma de un tráfico de datos.
- B. Una Aplicación basada en tecnologías Web para que los doctores puedan visualizar los datos de los sensores de forma remota. Los médicos son los usuarios de la aplicación y para acceder a la consulta de los datos registrados se deben autenticar en la misma mediante usuario y contraseña. Existe una cuenta especial de administrador, que accede a una parte especial de la aplicación desde la cual puede realizar tareas como dar de alta y borrar a usuarios y pacientes. La arquitectura de la Aplicación Web comprende el Dominio del Servidor Web y el Dominio del Médico.
- C. Un Sistema de Diagnóstico capaz de detectar los posibles episodios de apnea a partir de la información de los sensores que se vaya recogiendo. Este sistema se localiza en el Dominio del Servidor de Diagnóstico.
- D. Un Sistema de Almacenamiento, la intersección de A, B y C, que almacena la información de los sensores y otros datos relevantes para el sistema. Este sistema funciona como base de datos para los otros elementos de la arquitectura.

IV. SISTEMA DE COMUNICACIONES BASADO EN SIP

SIP es un protocolo de señalización de la capa de aplicación que permite crear, modificar y terminar sesiones multimedia en una red IP entre dos o más participantes. Es un estándar del IETF (Internet Engineering Task Force), especificado en el RFC 3261 [2].

Se ha escogido este protocolo por su flexibilidad y escalabilidad, y por tener diversas extensiones que facilitan el diseño de nuevas aplicaciones y servicios, como es el caso.

SIP está basado en mensajes textuales y sigue una estructura de petición-respuesta basada en el modelo cliente-servidor. En SIP existen dos elementos básicos: los servidores proxies, encargados de manejar y direccionar los mensajes de señalización, y los agentes de usuario, que son los componentes finales entre los que se establecen las sesiones

multimedia. En esta arquitectura, se ha escogido la configuración más típica en SIP, conocida con el nombre de "trapezoide SIP". Consta de dos proxies SIP que enrutan los mensajes intercambiados entre dos agentes de usuario. En la Fig. 1 se pueden distinguir estos elementos. Por una parte, están los dos proxies, el Proxy del Paciente y el Proxy STAR y, por otra, el Agente de Usuario del paciente, y el agente de usuario B2BUA (Back-to-Back User Agent).

SIP funciona en colaboración con otros protocolos, como RTP (Real Time Transport Protocol)[6], para el transporte en tiempo real de los datos recogidos de los sensores del paciente.

La gestión de la transferencia de los datos recogidos por los sensores se realiza mediante sesiones. Una sesión de datos abarca el espacio de tiempo en el cual se está recogiendo y enviando la información procedente de los sensores. El inicio y la gestión de dicha sesión se llevan a cabo mediante señalización SIP, mientras que el envío de los datos se realiza por medio de RTP.

Dentro del sistema de Comunicaciones encontramos dos Dominios: dominio del Servidor SIP, dominio del paciente.

A. Dominio del Servidor SIP

El núcleo del Dominio del servidor SIP está formado por un Proxy SIP que denominamos "Proxy STAR". A través de él pasan y se encaminan todos los mensajes SIP necesarios para la gestión de las sesiones y también se encarga de autenticar a los pacientes, mediante los nombres de usuario del sistema. Los nombres de usuario se gestionan en la aplicación Web, la cual informa al "Proxy STAR" mediante el protocolo XML-RPC de cualquier actualización de los mismos.

Cada agente de usuario se identifica con una URI (Uniform Resource Identifier) [4], llamada SIP URI, del tipo "sip:nombreDeUsuario@star.com". Los mensajes SIP van dirigidos a estas URIs, que son las direcciones lógicas. Para poder enrutar los mensajes, es necesario mantener un registro que relacione las URIs, con las direcciones físicas, que identifican las máquinas en las que se encuentran los agentes de usuario. De esta forma, es posible dirigir correctamente los mensajes SIP hacia su destino. Esta función la desempeña el Servidor de Registro, que mantiene la asociación entre las dos direcciones e informa al Proxy STAR cuando éste lo solicita. El protocolo SIP, además de ser el encargado de iniciar y terminar las sesiones de datos, proporciona una infraestructura capaz de ofrecer información de presencia sobre los pacientes. Este tipo de información incluye: estado de conexión del enfermo, datos personales del paciente, estado del servicio de transferencia de datos, modelo de los sensores utilizados y si se encuentran activos. Esta información es gestionada y almacenada en el Servidor de Presencia.

El B2BUA es otro un elemento importante en esta arquitectura. Se trata de un elemento que realiza tanto funciones de Agente de Usuario como de Proxy, ya que permite el desarrollo de un servidor de aplicaciones, entre otras cosas. En nuestro caso, el B2BUA gestiona los mensajes de inicio de sesión provenientes de los agentes de usuario de los pacientes para crear una sesión y un nodo RTP por cada paciente. Los datos que le llegan se almacenan en tiempo real en la Base de Datos MySQL.

Además, parte de la información que se almacena en el Servidor de Presencia es necesaria para su visualización en la Aplicación Web. Para que dicha información llegue al Servidor Web, el B2BUA debe realizar una suscripción al Servidor de Presencia para que se le informe de los cambios producidos en la presencia de cualquier paciente. Una vez que esta información llega al B2BUA, se procesa y se transfiere a la Aplicación Web, mediante XML-RPC.

B. Dominio del Paciente

Este dominio engloba los distintos elementos situados en el entorno del paciente. Los sensores recogen los datos vitales del enfermo, mediante un formato propietario. Los datos son recogidos y agrupados por un módulo de desarrollo propio que los entrega al sistema de comunicaciones.

El Sistema de comunicaciones transfiere los datos mediante una el protocolo RTP entre el nodo RTP del Paciente y el nodo RTP del B2BUA. Para ello, se creará previamente una sesión multimedia entre los dos agentes de usuario mediante señalización SIP, negociando los parámetros de dicha sesión usando al protocolo de negociación de sesiones SDP (Session Description Protocol)[5].

El establecimiento de la sesión de datos es la principal función del Agente de Usuario del Paciente, pero no la única. También es el responsable de la publicación de la información de presencia del paciente y de realizar el registro de la dirección IP que se esté utilizando.

Finalmente el Proxy del Paciente es el encargado de direccionar correctamente todos los mensajes SIP salientes y encaminarlos hacia el Proxy STAR. En sentido contrario, el Proxy del paciente es el encargado de manejar los mensajes entrantes al dominio y pasárselos al Agente de Usuario del Paciente.

V. FUNCIONES DE SEÑALIZACIÓN

El sistema de comunicaciones descrito en el apartado anterior permite ofrecer una serie de facilidades de señalización y control de sesiones multimedia mediante el protocolo SIP, que incluye mecanismos para soportar las siguientes funcionalidades.

La aplicación que recoge los datos del Omicron se puede describir en varios bloques funcionales:

- Localización de usuarios, mediante un mecanismo que permite el registro de las direcciones en uso con el fin de poder localizar a los usuarios.
- Negociación e inicio de sesiones, en concreto, selección de las características, formatos y tipo de información que se desea y se puede intercambiar en cada sesión.
- Gestión de la información de presencia de los pacientes [7,8], mediante una infraestructura que permite tanto la publicación de la información como la posibilidad de recibir notificaciones de los cambios de presencia producidos.
- Otras funcionalidades avanzadas, basadas principalmente en un sistema de mensajería instantánea (IM). Estas funcionalidades permitirán implementar los avisos a doctores y familiares en respuesta a los problemas detectados por los algoritmos que analizan la señal en tiempo real.

VI. APLICACIÓN DE VISUALIZACIÓN DE SEÑALES BASADA EN TECNOLOGÍA WEB

Para cubrir los objetivos del proyecto en cuanto a flexibilidad y facilidad de acceso desde cualquier terminal conectado a Internet, se decidió desarrollar una aplicación basada en tecnologías web.

Para que los doctores puedan visualizar de forma remota las señales registradas de los pacientes que tienen asignados, en el lado del cliente se necesita únicamente disponer de un navegador, mientras que en el lado del servidor hay muchas tecnologías disponibles e.g. Ruby on Rails, PHP, .NET etc. y todas ellas están extensamente documentadas y probadas.

Conceptualmente, la aplicación basada en tecnologías web se divide en dos partes: dominio del médico, y dominio del servidor web.

A. Dominio del médico

El dominio del médico el acceso de este al sistema mediante un navegador web, desde un ordenador con acceso a Internet. En el navegador se ejecuta una aplicación web, a la que se accede tecleando la URL inicial de la aplicación en la barra de direcciones. Como navegador web se necesita Internet Explorer versión 6.0 ó superior.

La aplicación web utiliza gráficos SVG para mostrar información gráfica de los pacientes, como por ejemplo la grabación de un electrocardiograma durante cierto periodo de tiempo. Para poder ver estos gráficos es necesario instalar un plugin SVG, que se puede encontrar rápidamente en un buscador y descargar de Internet.

Scalable Vector Graphics (SVG) es una especificación XML y un formato de fichero que describe gráficos vectoriales en dos dimensiones, tanto estáticos como animados. SVG puede ser puramente declarativo o puede incluir scripting. Puede contener imágenes utilizando hipervínculos. Es un estándar abierto creado por el W3C (World Wide Web Consortium).

B. Dominio del servidor web

En este dominio se ejecutan varios procesos, siendo el principal de ellos el propio servidor web. El servidor web tiene detrás el framework Ruby on Rails generando las páginas dinámicas de una aplicación web.

Ruby on Rails es un framework gratuito para crear aplicaciones web, cuyo objetivo es aumentar la velocidad y facilidad con la que se pueden crear sitios web basados en una base de datos.

El visualizador de señales utiliza varias técnicas para despliegue dinámico de datos: para los datos gráficos se utiliza la funcionalidad del scripting en las imágenes SVG, incluido dentro de la declaración del visualizador SVG. Para la actualización del contenido de la página con los mensajes procesados en la base de datos, se utiliza la técnica de desarrollo web para crear aplicaciones interactivas AJAX (Asynchronous Javascript And XML), de esta forma se realizan cambios sobre una parte de la página sin tener que recargar y finalmente la actualización de datos en la página se realiza periódicamente mediante el llamado a la función Javascript (periodicexecuter).

El visualizador de señales se puede utilizar de dos modos diferentes: la opción del visualizador estático en el cual se

pueden desplegar todos los datos recientemente recibidos o los mensajes ya almacenados de sesiones anteriores, de esta manera el médico puede revisar y analizar los datos recogidos que no haya podido visualizar en tiempo real. Por otro lado está el visualizador dinámico que automáticamente despliega los últimos datos recogidos con una señal gráfica en movimiento, de esta forma el médico ve los datos que se están recogiendo, almacenando y visualizando en tiempo real.

VII. RECOGIDA DE DATOS DEL MONITOR

El equipo RGB-Omicrom utilizado en el Proyecto permite la entrega de datos mediante un interfaz RS232. Para poder recoger estos datos y entregarlos al sistema de comunicaciones y de procesamiento local de las señales, ha sido necesario desarrollar un software específico en el Cliente (PC) del Omicrom que facilite y haga lo más transparente posibles las interacciones con el equipo de monitorización. La Fig 2 muestra el diagrama de bloques del sistema de recogida de datos del monitor:

- Una capa de bajo nivel, de gestión de comunicaciones: control de puerto, entramado, gestión de errores de bajo nivel.
- Un nivel intermedio, basado en un Event dispatcher, que por un lado recibe y envía tramas a la capa de bajo nivel, y por otro lado atiende a las peticiones de los diversos clientes, que mediante event listeners solicitan la notificación de la llegada de tramas.
Se ofrecen tres event listeners: uno interno, que actúa como monitor de comunicaciones; un servidor de red, que permite la conexión de múltiples clientes; y un servidor de acceso directo, que permite a una aplicación local conectarse con el event dispatcher. Todas estas aplicaciones comparten un API común, lo que permite el desarrollo de aplicaciones adicionales que comuniquen directamente con el Event Dispatcher
- Una capa superior, que es la que normalmente utilizarán los desarrolladores. Se ofrece un Interfaz, que permite el desarrollo de aplicaciones que funcionen bien por polling, bien por eventos.

El cliente de la aplicación selecciona el método de conexión, indicando si va a utilizar una conexión directa, de red local o va a usar el simulador. Se le ofrece un objeto de conexión sobre el que realiza las diversas operaciones.

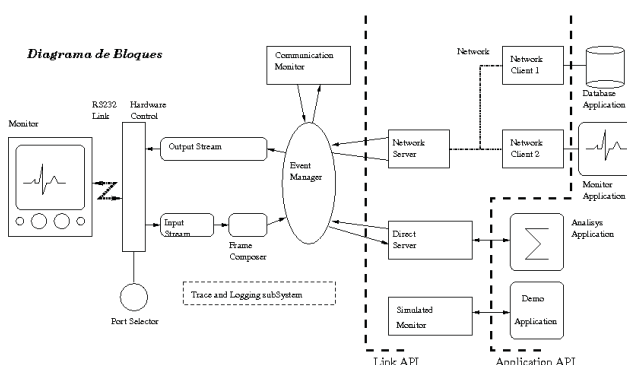


Fig. 2. Obtención de datos del Omicrom en tiempo real

Mediante este esquema se pueden enviar a diferentes clientes las señales que se van recogiendo desde el equipo de monitorización, tanto si estos se encuentran en el mismo terminal en que está localizado el Omicrom, como si se accede mediante una red IP. En la implementación actual se recogen estos datos simultáneamente desde dos clientes: el sistema de comunicaciones y la aplicación de análisis de señal local.

Este propio sistema de comunicaciones permite la recogida de las alarmas producidas por la aplicación de análisis de señal local y su envío al sistema de almacenamiento para ser guardado con el resto de informaciones en la Base de Datos.

VIII. TRANSPORTE DE DATOS

El transporte de los datos en el Sistema de Comunicaciones se realiza mediante RTP (Real Time Transport Protocol). Este protocolo es utilizado por las aplicaciones que requieren un transporte de información de extremo a extremo en tiempo real, ya bien se trate de imágenes, sonido o datos. Se utiliza normalmente junto con RTCP (Real Time Transport Control Protocol), proporcionando así una calidad aceptable a los flujos de datos. RTCP permite el transporte de los datos de monitorización y control de la sesión RTP informando acerca de la calidad de recepción e indicando el nivel de pérdidas detectado. Para ello, se manejan distintos mecanismos, como la vigilancia del correcto orden de procesamiento de los paquetes y el control de los mensajes perdidos durante el envío. Debido a sus necesidades en tiempo real, los paquetes RTP/RTCP van encapsulados en datagramas UDP.

El Sistema de Comunicaciones transporta las muestras recogidas por los sensores de los pacientes. Estas muestras forman un flujo continuo de datos que llegan al sistema mediante un puerto que sirve de conexión entre los sensores y el Sistema de Comunicaciones.

Las muestras generadas por el Omicrom se recogen y se empaquetan en un mensaje HL7 de tipo ORU (Resultado no Solicitado de Observación). Se ha decidido utilizar HL7 para la transmisión y almacenamiento de las señales recogidas por se un protocolo estandarizado y ampliamente utilizado en el campo de las aplicaciones médicas.

El tamaño que pueden llegar a ocupar los mensajes HL7 es variable y depende principalmente del tipo de mensaje que se utilice (ER7 o XML) y del contenido que incluya. La longitud que posea es importante a la hora de mandar los paquetes RTP por la red.

Para evitar que se produzca segmentación de los paquetes, se ha escogido una unidad máxima de transmisión (MTU) del enlace de 1024 bytes. Por lo tanto, teniendo en cuenta las cabeceras IP (20 bytes), UDP (8 bytes) y RTP (12 bytes), se obtiene un tamaño máximo del contenido del paquete RTP de 984 bytes. Por esta razón, se ha escogido para las pruebas realizadas un mensaje HL7 que no sobrepasa ese tamaño. Este mensaje es del tipo ER7 (Encoding Rules Seven), que puede llegar a ocupar 11 veces menos que su equivalente en XML. El mensaje incluirá un ejemplo de una señal, indicando su título, sus unidades, los valores máximos y mínimos que puede tomar y las muestras obtenidas. Como información propia del mensaje

se incluye el número de secuencia, la versión y tipo de HL7 y el instante de muestreo. A continuación, se observa un ejemplo utilizado en las pruebas, que ocupa 166 bytes.

```
MSH|^~\&|TestSendingSystem|||20071026103522.746|ORU^R01|||2.4|1
OBR|||E|Electrocardiograma
OBX||CD||^1.0&mV^1.0^1&3
OBX||TS||20071026103522.746
OBX||NM||1~2~3
```

Fig. 3. Ejemplo Mensaje HL7

Cada uno de estos mensajes HL7 se encapsula en un paquete RTP. Se habla de una sesión RTP cuando se hace referencia al flujo intercambiado entre dos o más participantes, utilizando cada uno de ellos dos puertos consecutivos: el primero, un número par, es por donde se envían los paquetes RTP y, el segundo, impar, es el utilizado para los mensajes de control RTCP. Cada uno de los participantes que envía datos se le llama fuente, y se le identifica con un número de 32 bits elegido al azar que irá incluido en los paquetes que se manden por la red, ya sean RTP o RTCP, como modo de identificador del remitente.

En el Sistema de Comunicaciones diseñado, la sesión RTP se gestiona mediante el establecimiento de sesiones realizado utilizando los protocolos SIP y SDP. Durante dicha transacción, se indica el puerto RTP que utilizará cada una de los dos participantes, siendo el puerto RTCP el sucesivo. Una vez negociada la sesión, se inician los nodos RTP, encargados de manejar el flujo de los datos RTP/RTCP. En la Fig. 4 se puede observar el camino que siguen los paquetes.

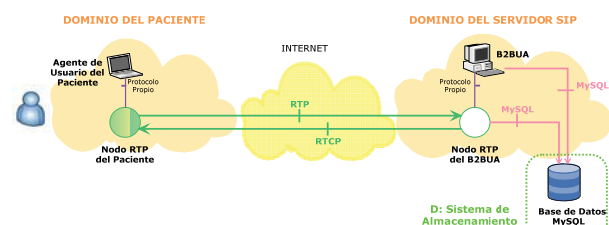


Fig. 4. Transporte de Datos

El nodo RTP del Paciente recibe por un puerto el flujo de datos que simula las muestras recogidas por los sensores. Estas muestras, son encapsuladas en un mensaje HL7, el cual, a su vez, se incluye en un paquete RTP que es enviado por la red por el socket UDP del puerto especificado anteriormente.

El nodo RTP del B2BUA recibe los mensajes RTP procedentes del paciente, comprueba mediante el número de secuencia indicado en la cabecera, que el paquete que recoge es el esperado y, una vez desempaquetado, almacena el mensaje HL7 en el Sistema de Almacenamiento. En la Base de Datos MySQL se guardan todos los mensajes HL7 recibidos, relacionándolos con la sesión SIP a la que pertenecen. Estos datos estarán disponibles para la aplicación basada en Web, que accederá a las muestras para representarlas gráficamente.

Cuando el nodo del B2BUA detecta una pérdida de un paquete RTP, notifica al nodo del Paciente mediante un mensaje

RTCP, que incluye el número de secuencia del último paquete RTP correctamente recibido. El paquete RTCP que se envía es del tipo RR (Receiver Report), el cual proporciona estadísticas de recepción de las fuentes que no están activas, como es el caso del nodo del B2BUA, que no genera datos RTP. En este paquete se incluye también el tanto por ciento de los paquetes perdidos y el número total de pérdidas durante la sesión. En general, se usará RTCP para proporcionar un mecanismo de control dando realimentación a la fuente.

El nodo RTP del Paciente recibe estos datos de control con el fin de informar al Agente de Usuario del Paciente de las pérdidas detectadas.

IX. ARQUITECTURA DEL PROCESADO DE SEÑAL

Para implementar los algoritmos que analizan las señales recogida por los sensores se utilizan algoritmos implementados en Matlab. Por lo tanto es necesario cambiar el formato de estas señales y realizar algún acondicionamiento (en algunos casos filtrado lineal, en otros detección de medidas falsas) y normalización:

- **Impedancia torácica:** esta es una señal con gran variabilidad y es previsible que con importantes cambios de nivel (basta que el sujeto cambie de posición en la cama). Este comportamiento dificulta la determinación del periodo instantáneo. Además para determinar artefactos derivados del movimiento del sujeto o de los electrodos haremos medidas de semejanza entre periodos. También haremos detección de suspiros.
- **Electrocardiograma:** sobre esta señal se mide el intervalo R-R; esta medida será utilizada para determinar arritmias y para estudiar su variabilidad. Para estudiar la variabilidad es previsible que se requiera una precisión mayor que el periodo de muestreo.
- **Saturación de oxígeno:** el procesado en esta señal se centrará en la detección de medidas aisladas erróneas. Además, se generará una alarma si el nivel de saturación es inferior a un determinado umbral, a fijar.
- **Medida de señales complementarias:** utilizaremos las señales IBI y HRV. El procesado para obtener estas señales puede ser importante, especialmente si se requieren precisiones altas. Por tanto no se realizará el procesado en la habitación del paciente sino con ordenadores que acceden a la base de datos: **Señales IBI y señales HRV.**

Estos algoritmos producen alarmas de distinta gravedad, que activan en primer lugar una alarma local y son transmitidas y almacenadas en la base de datos para su posterior análisis.

En una fase posterior del proyecto se procederá a definir el protocolo de comunicaciones con los doctores y los padres en función del tipo y gravedad de las alarmas que se activen.

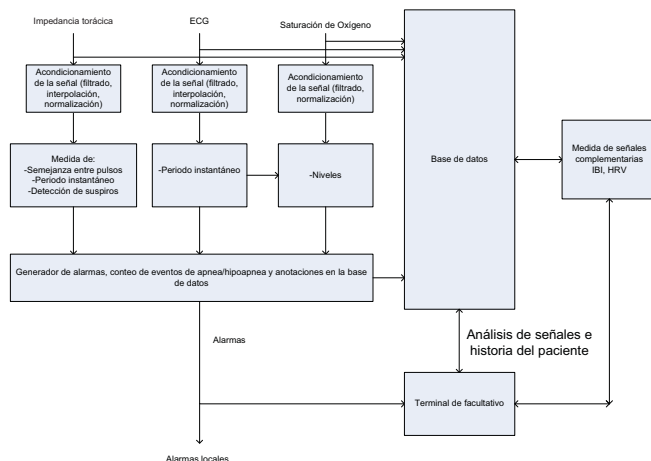


Fig. 5. Esquema de Bloques del análisis de la señal.

X. DESPLIEGUE Y EVALUACIÓN

La validación del sistema se pretende realizar mediante el despliegue del sistema en el hospital de LA PAZ y en una fase posterior en los domicilios de pacientes seleccionados. En el primer caso se están utilizando tarjetas de datos UMTS como medio de conexión con la red UMTS de Movistar, y en el segundo está en estudio la utilización del concepto de nodo doméstico, o lo que es lo mismo, una estación base UMTS de potencia muy reducida, similar en tamaño al de un router Wifi, que se conecta a la red móvil vía una conexión ADSL, y que se sitúa en el domicilio del paciente, proporcionándole cobertura UMTS en su interior.

Actualmente se dispone de un prototipo de la Arquitectura de Comunicaciones en la ETSIT y de varios prototipos de los algoritmos de detección de apnea.

Como paso intermedio al despliegue del sistema completo se ha diseñado un subsistema de captura de datos con el objetivo de disponer de un conjunto de muestras que abarque largos periodos de tiempo de un mismo paciente y en un formato procesable por nuestra herramientas.

A continuación se procederá al despliegue en La Paz. Para ello se están realizando una serie de actividades preparatorias: localización de ubicaciones para los equipos necesarios en La Paz, obtención de los pertinentes permisos de instalación y preparación de la documentación a entregar a los padres.

La ubicación de los sistemas de monitorización deberá ceñirse a los siguientes condicionantes:

- La infraestructura se desplegará en las Unidades de Pediatría 1 y 2 que son las áreas de ingreso preferentes para los pacientes con apnea.
- La ubicación del nodo local se adecuará a la disponibilidad de espacio en las plantas dando cobertura a las habitaciones destinadas a los niños que se van a monitorizar.
- Dado que esta monitorización es necesaria para vigilar adecuadamente al paciente, habrá que considerar inicialmente una monitorización dual (convencional y mediante el Sistema STAR) facilitando la curva de aprendizaje de los usuarios de esta tecnología (médicos

y personal de enfermería). Esta etapa sentará las bases del despliegue domiciliario del STAR.

- Se han solicitado los permisos oportunos ante la Sub-Gerencia del Hospital Materno Infantil y el JS Asuntos Administrativos quienes lo tramitan ante la Comunidad de Madrid.

Si bien el protocolo del ensayo está aprobado por el Comité de Ensayos Clínicos del Hospital, el protocolo de Consentimiento Informado que deben firmar los Padres o encargados debe pasar unos ajustes de redacción antes de su aprobación definitiva. Se adjunta la versión presentada.

Finalmente y una vez validado el funcionamiento del sistema global se procederá al despliegue domiciliario con pacientes seleccionados que permitan validar los objetivos del sistema en cuanto a control remoto y movilidad de los pacientes para mejorar su calidad de vida.

En colaboración con los doctores de La Paz se definirá el protocolo de asistencia a estos pacientes y se identificarán los mensajes que se deben enviar en función del tipo y severidad de las alarmas detectadas por los algoritmos.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo descrito en este artículo está basado en los resultados del proyecto STAR (Sistema telefónico de Alarma Respiratoria Infantil), apoyado económica y técnicamente por Telefónica Móviles de España S. A. U., y en el que participan El Hospital de LA PAZ y la ETSI Telecomunicación de la universidad politécnica de Madrid.

REFERENCIAS

- [1] www.physionet.org.
- [2] J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley y E. Schooler, "SIP: Session Initiation Protocol", Internet Eng. Task Force RFC 3261, Junio de 2002.
- [3] M. Handley y V. Jacobson, "SDP: Session Description Protocol", Internet Eng. Task Force RFC 2327, Abril de 1998.
- [4] T. Berners-Lee, R. Fielding y L. Masinter, "Uniform Resource Identifiers (URI): Generic Syntax", Internet Eng. Task Force RFC 2396, Agosto de 1998.
- [5] M. Handley y V. Jacobson, "SDP: Session Description Protocol", Internet Eng. Task Force RFC 2327, Abril de 1998.
- [6] H. Schulzrinne, S. Casner, F. Frederick y V. Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications", Internet Eng. Task Force RFC 1889, Enero de 1996.
- [7] M. Day, J. Rosenberg, y H. Sagano, "A Model for Presence and Instant Messaging", Internet Eng. Task Force RFC 2778, Febrero de 2000.
- [8] M. Day, S. Aggarwal, G. Mohr y J. Vincent, "InstantMessaging/Presence Protocol Requirements", Internet Eng. Task Force RFC 2779, Febrero de 2000.
- [9] D. Singh et al: Sampling frequency of the RR interval time series for spectral analysis of heart rate variability. J. Medical Engineering Technol. 2004 Nov-Dec; 28(6): 263-272.